

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 60-009104

(43)Date of publication of application : 18.01.1985

(51)Int.Cl.

H01F 1/08
C22C 38/02

(21)Application number : 58-117439

(71)Applicant : SUMITOMO SPECIAL METALS CO LTD

(22)Date of filing : 29.06.1983

(72)Inventor : MATSUURA YUTAKA
TOGAWA MASAO
SAGAWA MASATO
YAMAMOTO HITOSHI
FUJIMURA SETSUO

(54) PERMANENT MAGNET

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve coercive force and further improve temperature characteristic and oxidation proove characteristic by forming a permanent magnet, mainly composed of R (R is a rare earth element including Y), B and Fe as the sintered body with the main phase formed as a tetragonal crystal.

CONSTITUTION: A permanent magnet is formed by 8W30atom% of R, 2W 28atom% of B, 15 atom% in maximum of Si, at least a kind of elements to be added shown in the table and a remainder of Fe. This magnet is also formed as a sintered body with the main phase formed by the tetragonal crystal. Such a permanent magnet includes, for example, electrolytic iron with purity of 99.9% and 19.4% of B as the starting materials. As the remainders, ferroboron alloy consisting of Fe and impurity, Nd with impurity of 99.7% and Si with impurity of 99.9% are used. After adding an additive element, the materials are molten by a high frequency heating, casted and then formed as the fine powder. This fine powder is placed in a metal die, oriented within the magnetic field and molded under the pressure. A mold obtained is sintered under Ar.

Ti	4.5原子%以下、	Nb	4.5原子%以下、
Bi	5 原子%以下、	V	9.5原子%以下、
Nb	12.5原子%以下、	Ta	10.5原子%以下、
Cr	8.5原子%以下、	Mo	9.5原子%以下、
W	9.5原子%以下、	Mn	3.5原子%以下、
Al	9.5原子%以下、	Sb	2.5原子%以下、
Ca	7 原子%以下、	Sn	3.5原子%以下、
Zr	5.5原子%以下、	Hf	5.5原子%以下、
Ce	8.5原子%以下、	Th	8.5原子%以下、
Sr	7.0原子%以下、	Ba	7.0原子%以下、
Be	7.0原子%以下、		

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

⑫ 特許公報(B2)

平4-22006

⑤ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公告 平成4年(1992)4月15日

H 01 F 1/053
C 22 C 38/00

3 0 3 D

7047-4K
7371-5E

H 01 F 1/04

H

発明の数 1 (全9頁)

⑬ 発明の名称 永久磁石材料

⑯ 特 願 昭58-117439

⑰ 公 開 昭60-9104

⑱ 出 願 昭58(1983)6月29日

⑲ 昭60(1985)1月18日

⑳ 発 明 者 松 浦 裕 大阪府三島郡島本町江川二丁目15-17 住友特殊金属株式会社山崎製作所内
 ㉑ 発 明 者 戸 川 雅 夫 大阪府三島郡島本町江川二丁目15-17 住友特殊金属株式会社山崎製作所内
 ㉒ 発 明 者 佐 川 真 人 大阪府三島郡島本町江川二丁目15-17 住友特殊金属株式会社山崎製作所内
 ㉓ 発 明 者 山 本 日 登 志 大阪府三島郡島本町江川二丁目15-17 住友特殊金属株式会社山崎製作所内
 ㉔ 発 明 者 藤 村 節 夫 大阪府三島郡島本町江川二丁目15-17 住友特殊金属株式会社山崎製作所内
 ㉕ 出 願 人 住友特殊金属株式会社 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番19号
 ㉖ 代 理 人 弁理士 押田 良久
 ㉗ 審 査 官 平 塚 義 三
 ㉘ 参 考 文 献 特開 昭57-141901 (JP, A)

1

2

㉙ 特許請求の範囲

1 R(但しRはYを含む希土類元素のうち少なくとも1種)8原子%~30原子%、

B2原子%~28原子%、

下記添加元素Mのうち少なくとも1種(但し、5 Mとして2種以上の添加元素を含有する場合は、当該添加元素の上限のうち最大値を添加総量の上限值とする。)を含有し、

残部Fe及び不可避免的不純物からなり、主相が正方晶であるR-Fe-B系永久磁石材料において、

15原子%以下のSiを含有したことを特徴とする永久磁石材料。

Ti4.5原子%以下、Ni4.5原子%以下、

Bi5.0原子%以下、V9.5原子%以下、

Nb12.5原子%以下、Ta10.5原子%以下、

Cr8.5原子%以下、Mo9.5原子%以下、

W9.5原子%以下、Mn3.5原子%以下、

Al9.5原子%以下、Sb2.5原子%以下、
Ge7.0原子%以下、Sn3.5原子%以下、
Zr5.5原子%以下、Hf5.5原子%以下、
Ca8.5原子%以下、Mg8.5原子%以下、
Sr7.0原子%以下、Ba7.0原子%以下、
Be7.0原子%以下。

発明の詳細な説明

産業上の利用分野

この発明は、R(RはYを含む希土類元素のうち少なくとも1種)、B、Feを主成分とする永久磁石に係り、添加元素により保磁力を向上させ、かつ主成分たるFeまたはBの一部をSiで置換し、温度特性及び耐酸化性を改善した希土類・鉄・ボロン系永久磁石材料に関する。

15 従来の技術

永久磁石材料は、一般家庭の各種電気製品から、大型コンピュータの周辺端末器まで、幅広い分野で使用される極めて重要な電気・電子材料の

一つである。近年の電気・電子機器の小形化、高効率化の要求にともない、永久磁石材料は益々高性能化が求められるようになった。

現在の代表的な永久磁石材料は、アルニコ、ハードフェライトおよび希土類コバルト磁石である。近年のコバルトの原料事情の不安定化に伴ない、コバルトを20~30wt%含むアルニコ磁石の需要は減り、鉄の酸化物を主成分とする安価なハードフェライトが磁石材料の主流を占めるようになった。

一方、希土類コバルト磁石はコバルトを50~60wt%も含むうえ、希土類鉱石中にあまり含まれていないSmを使用するため大変高価であるが、他の磁石に比べて、磁気特性が格段に高いため、主として小型で付加価値の高い磁気回路に多用されるようになった。

そこで、本発明者は先に、高価なSmやCoを含有しない新しい高性能永久磁石としてR-Fe-B系(RはYを含む希土類元素のうち少なくとも1種)永久磁石を提案した(特願昭57-145072号)。

このR-Fe-B系永久磁石は、RとしてNdやPrを中心とする資源的に豊富な軽希土類を用い、Bを必須成分、Feを主成分としてR-Fe-B系三元化合物を形成し25MGOe以上の極めて高いエネルギー積を示すすぐれた永久磁石である。

発明が解決しようとする課題

永久磁石材料におけるキュリー点の上昇は、磁気特性の温度変化の減少のための最も重要な要因とされており、上述したR-Fe-B系永久磁石材料のキュリー点は、含有される希土類元素によって変化し、ちなみに、Nd-B-Fe系で約310℃、Gd-B-Fe系で約370℃であった。

また、上述したR-Fe-B系永久磁石材料は、希土類元素を含有して活性に富み酸化されやすく、例えば、磁気回路に組立てた場合の永久磁石の錆発生は、磁気回路の出力低下を招来するため、耐酸化性の向上が望まれる。

この発明は、希土類・鉄・ボロンを主成分とする新規な永久磁石の保磁力を改善し、さらに温度特性と共に耐酸化性を改善した希土類・鉄・ボロンを主成分とする永久磁石材料の提供を目的としている。

課題を解決するための手段

この発明は、R-Fe-B系永久磁石材料における温度特性、耐酸化性の改善向上並びに高保磁力化を目的に、添加元素について種々検討した結果、Siを添加することにより、R-Fe-B系永久磁石材料のキュリー点を上昇させることができ、かつ耐酸化性が向上することを知見し、さらに、所要の添加元素Mを添加すると保磁力が向上することを知見し、この発明を完成したものである。

すなわち、この発明は、

R(但しRはYを含む希土類元素のうち少なくとも1種)8原子%~30原子%、

B2原子%~28原子%、

下記添加元素Mのうち少なくとも1種(但し、Mとして2種以上の添加元素を含有する場合は、当該添加元素の上限のうち最大値を添加総量の上限値とする。)を含有し、

残部Fe及び不可避免的不純物からなり、主相が正方晶であるR-Fe-B系永久磁石材料において、

15原子%以下のSiを含有したことを特徴とする永久磁石材料である。

Ti4.5原子%以下、Ni4.5原子%以下、

Bi5原子%以下、V9.5原子%以下、

Nb12.5原子%以下、Ta10.5原子%以下、

Cr8.5原子%以下、Mo9.5原子%以下、

W9.5原子%以下、Mn3.5原子%以下、

Al9.5原子%以下、Sb2.5原子%以下、

Ge7原子%以下、Sn3.5原子%以下、

Zr5.5原子%以下、Hf5.5原子%以下、

Ca8.5原子%以下、Mg8.5原子%以下、

Sr7.0原子%以下、Ba7.0原子%以下、

Be7.0原子%以下。

作 用

この発明は、R-Fe-B系永久磁石材料において、主成分たるFeまたはBの一部をSiで置換することにより、生成合金のキュリー点を上昇させ、残留磁束密度の温度特性を改善することができる。

R-Fe-B系永久磁石において、このSiの置換量の増大に伴ない、生成合金のキュリー点が上昇し、残留磁束密度の温度特性が改善され、かつ、これらの効果は希土類元素の種類を問わず有効である。

5

また、この発明は、R-Fe-B系永久磁石材料において、主成分たるFまたはBの一部をSiで置換することにより、永久磁石材料の耐酸化性を改善することができる。

さらに、添加元素Mは、R-Fe-B系永久磁石材料に対してその保磁力を改善する効果があり、永久磁石材料として実用上十分な保磁力を示し、特に添加元素中、Ca、Mg、Sr、Ba、Beは減磁曲線の角型性を著しく向上させ、好ましい態様においては、Sm-Co系永久磁石と同等以上の保磁力を示す。

従つて、この発明の永久磁石材料は、RとしてNdやPrを中心とする資源的に豊富な軽希土類を主に用い、Feを主成分とすることにより、25MGOe以上の極めて高いエネルギー積並びに、高残留磁束密度、高保磁力を有し、かつすぐれた残留磁束密度の温度特性を示し、すぐれた耐酸化性を有する、すぐれた永久磁石材料を安価に提供することができる。

また、Siは、安価な低純度Feまたはフェロボロン中に多量に含有されることがあり、これら不純物の多い安価な原料を使用することにより、不純物としてSiが含有されるが、この原料合金中のSi量を調整することにより、温度特性、耐酸化性のすぐれた高性能永久磁石材料を安価に提供できる。

組成限定理由

以下に、この発明による永久磁石材料の組成限定理由を説明する。

この発明の永久磁石に用いる希土類元素Rは、30 イットリウムYを包含し軽希土類及び重希土類を包含する希土類元素であり、これらのうち少なくとも1種、好ましくはNd、Pr等の軽希土類を主体として、あるいはNd、Pr等との混合物を用いる。

すなわち、Rとしては、
ネオジム (Nd)、プラセオジム (Pr)、
ランタン (La)、セリウム (Ce)、
テルビウム (Tb)、ジスプロシウム (Dy)、
ホルミウム (Ho)、エルビウム (Er)、
ユウロビウム (Eu)、サマリウム (Sm)、
カドリニウム (Gd)、プロメチウム (Pm)、
ツリウム (Tm)、イツテルビウム (Yb)、
ルテチウム (Lu)、イットリウム (Y) が包含

6

される。

また、通例Rのうち1種をもつて足りるが、実用上は2種以上の混合物（ミツシユメタル、ジジム等）を入手上の便宜等の理由により用いることができ、Sm、Y、La、Ce、Gd、等は他のR、特にNd、Pr等との混合物として用いることができる。

なお、このRは純希土類元素でなくてもよく、工業上人手可能な範囲で製造上不可避な不純物を含有するものでも差支えない。

Rは、新規なR-Fe-B系永久磁石材料における必須元素であつて、8原子%未満では、高磁気特性、特に高保磁力が得られず、30原子%を越えると、残留磁束密度Brが低下して、すぐれた特性の永久磁石が得られない。よつて、希土類元素は、8原子%~30原子%の範囲とする。

Bは、新規なR-Fe-B系永久磁石材料における必須元素であつて、2原子%未満では、高い保磁力 (iHc) は得られず、28原子%を越えると、残留磁束密度Brが低下するため、すぐれた永久磁石が得られない。よつて、Bは、2原子%~28原子%の範囲とする。

Siは、R-Fe-B系永久磁石材料の温度特性を改善するため、BまたはFeの一部を置換するもので、置換量の増大に伴ない生成合金のキュリー点を上昇させることができるが、15原子%を越えると、保磁力が1kOe未満となり、実用磁石材料として不適であるので、15原子%以下とする。また、高い磁気特性を有する永久磁石材料を得るには、10原子%以下のSiが望ましく、好ましい組成範囲の永久磁石材料の保磁力は4.5kOe以上、最大エネルギー積は19MGOe以上となる。

35 添加元素Mは、R-Fe-B系永久磁石に対してその保磁力を改善する効果があるため添加する。しかし、添加元素Mの添加量の増大に伴ない残留磁束密度Brの低下が招来されるため、従来のハードフェライト磁石の残留磁束密度と同等以上となる範囲でMを添加することが望ましい。

40 従つて、添加元素Mのうち、Ti、Ni、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Al、Sb、Ge、Sn、Zr、Ca、Mg、Sr、Ba、Be、の各元素の添加上限値は、ハードフェライト磁石の残留磁束密度の約4kGと同等以上の残留磁束密度を有する範囲とし、それぞれ、

Ti4.5原子%以下、Ni4.5原子%以下、
V9.5原子%以下、Nb12.5原子%以下、
Ta10.5原子%以下、Cr8.5原子%以下、
Mo9.5原子%以下、W9.5原子%以下、
Mn3.5原子%以下、Al9.5原子%以下、
Sb2.5原子%以下、Ge7原子%以下、
Sn3.5原子%以下、Zr5.5原子%以下、
Hf5.5原子%以下、Ca8.5原子%以下、
Mg8.5原子%以下、Sr7.0原子%以下、
Ba7.0原子%以下、Be7.0原子%以下、
とする。

また、Biはその蒸気圧が極めて高く、5原子%を超える合金の製造が事実上不可能なため、5原子%以下とする。Mn、Niは多量に添加するとIHcが減少する。すなわち、Mn3.5%、Ni4.5%を夫々越えると、IHcが無添加の場合よりも低くなってしまうため、これをもつて上限とする。

また、添加元素Mを2種以上を含有する場合、得られる残留磁束密度を4kG以上とするには、当該元素の上限のうち、最大値以下とする必要がある。

特に、特定量のCa、Mg、Sr、Ba、Beを含有する場合は、前記保磁力の向上と共に減磁曲線の角型性の著しい向上効果がある。

Feは、新規なR-Fe-B系永久磁石材料において必須元素であり、上記成分を含有した残余を占める。しかし、65原子%未満では残留磁束密度Brが低下し、82原子%を越えると、高い保磁力が得られないので、Feは65原子%~82原子%が望ましい。

この発明において、高い残留磁束密度と高い保磁力を共に有するすぐれた永久磁石を得るためには、R10原子%~25原子%、B4原子%~26原子%、Fe68原子%~80原子%が好ましい。

また、この発明による永久磁石材料は、R、B、Feの他、工業的生産上不可避的不純物の存在を許容できるが、FeまたはBの一部を4.0原子%以下のC、3.5原子%のP、2.5原子%以下のS、3.5原子%以下のCuのうち少なくとも1種、合計量で4.0原子%以下で置換することにより、永久磁石材料の製造性改善、低価格化が可能である。

FeまたはBの一部をSiで置換してR-Fe-B系三元化合物を形成し添加元素Mを含有するこの

発明によるR-Fe-B系永久磁石材料において、結晶相は主相が正方晶であることが不可欠であり、特に微細で均一な合金粉末を得て、すぐれた磁気特性を有する永久磁石を作製するのに効果的である。

この発明によるR-Fe-B系永久磁石材料は、保磁力 $iH_c \geq 1kOe$ 、残留磁束密度 $Br \geq 4kG$ 、を示し、最大エネルギー積 $(BH)_{max}$ はハードフェライトと同等以上となり、最も好ましい組成範囲では、 $(BH)_{max} \geq 10MGOe$ を示し、最大値は25MGOe以上に達する。

また、この発明によるR-Fe-B系永久磁石材料のRの主成分が、その50%以上を軽希土類金属が占める場合で、R12原子%~20原子%、B4原子%~24原子%、Fe65原子%~82原子%、Si10原子%、M1原子%以下含有するとき、最もすぐれた磁気特性を示し、特に軽希土類金属がNdの場合には、 $(BH)_{max}$ はその最大値が33MGOe以上に達する。

20 実施例

以下に、この発明による実施例を示しその効果を明らかにする。

実施例 1

出発原料として、純度99.9%の電解鉄、B19.4%を含有し残部はFe、及びAl15.3%、Si0.7%、C0.03%等の不純物からなるフェロボロン合金、純度99.7%以上のNd、純度99.9%のSiを使用し、添加元素として、純度99%のTi、Bi、Mn、Sb、Ta、Ca、Mg、Sr、Ba、Be、純度98%のW、純度99.9%のAl、純度99.9%のGe、Snまた、Vとして81.2%のVを含むフェロバナジウム、Nbとして67.6%のNbを含むフェロニオブ、Crとして61.9%のCrを含むフェロクロム、を使用し、これらを高周波溶解し、その後水冷銅鑄型に鑄造した(ただし、出発原料の純度は重量で示す。以下同様。)

その後、インゴットをスタンプミルにより35メッシュスルーまでに粗粉碎し、次にボールミルにより3時間粉碎し、粒度3~10 μm の微粉末を得た。

この微粉末を金型に挿入し、10kOeの磁界中で配向し、1.5~3t/cm²の圧力で成形した。

得られた成形体を、1000℃~1200℃、1時間、Ar中、の条件で焼結し、その後放冷し、この発

明による永久磁石を作製した。

このとき、基本成分組成を、15Nd-8B-1M-76Feとし、種々の添加元素を含有し、かつFeの一部をSiで置換し、Si量を種々変化させた各種永久磁石〔15Nd-8B-1M-76-x) Fe-xSi〕のキュリー温度を調べた。結果は第1図から第5図に示す。

なお、第1図から第5図において、曲線1はTa含有、曲線2はW含有、曲線3はAl含有、曲線4はNb含有、曲線5はCr含有、曲線7はV含有、曲線8はBi含有、曲線9はSn含有、曲線10はGe含有、曲線11はTi含有、曲線12はCa含有、曲線13はMg含有、曲線14はBe含有、曲線15はBa含有、曲線16はSr含有の場合を示す。

実施例において、キュリー温度の測定は、焼結体から3.5mm×3.5mm×1mm寸法に切り出し、10kOeの磁場を印加し、25℃～500℃の温度範囲で、4πIの温度変化を測定し、4πIがほぼ0となる温度とした。

第1図から第5図の結果から明らかなように、Si量の増加に伴って、キュリー点が上昇して磁気特性の温度変化の改善に有効なことがわかる。

実施例 2

実施例1と同じ製法で永久磁石を作製し、基本成分組成を、16Nd-10B-1M-73Feとし、MをAlとし、Feの一部をSiで置換し、Si量を種々変化させた各種永久磁石

〔16Nd-10B-1M-(73-x) Fe-xSi〕の耐酸化性を調べた。

耐酸化性の試験は、寸法10mm×10mm×15mmの直方体試料を用い、湿度80%含有大気中で60℃で24時間保持した後、各試料の単位面積当りの重量増加で評価した。

試験結果は第1表に示すように、Si量の増加にともない耐酸化性が著しく改善されることが明らかである。

第 1 表

No	成分組成	重量増加 (g/cm ²)
1	16Nd-10B-1Al-balFe	9.5×10 ⁻⁴
2	16Nd-10B-1Al-0.5Si-balFe	7.4×10 ⁻⁴
3	16Nd-10B-1Al-1Si-balFe	6.2×10 ⁻⁴

No	成分組成	重量増加 (g/cm ²)
4	16Nd-10B-1Al-3Si-balFe	5.1×10 ⁻⁴
5	16Nd-10B-1Al-5Si-balFe	4.5×10 ⁻⁴
6	16Nd-10B-1Al-8Si-balF	4.0×10 ⁻⁴
7	16Nd-10B-1Al-12Si-balFe	3.3×10 ⁻⁴
8	16Nd-10B-1Al-15Si-balFe	2.9×10 ⁻⁴

実施例 3

出発原料として、純度99.9%の電解鉄、B19.4%を含有し残部はFe、及びAl5.3%、Si0.7%、C0.03%等の不純物からなるフェロボロン合金、純度99.7%以上のNd、純度99.9%のSiを使用し、添加元素として、純度99%のTi、Mo、Bi、Mn、Sb、Ni、Ta、Ca、Mg、純度98%のW、純度99.9%のAl、純度95%のHf、純度99%のGe、SnまたVとして81.2%のVを含むフェロバナジウム、Nbとして67.6%のNbを含むフェロニオブ、Crとして61.9%のCrを含むフェロクロム、Zrとして75.5%のZrを含むフェロジルコニウムを使用し、第2表及び第3表の成分組成となるように配合し、これらを高周波溶解し、その後水冷銅鋳型に鑄造した。

その後、インゴットをスタンプミルにより35メツシユスルーまでに粗粉碎し、次にボールミルにより3時間粉碎し、粒度3～10μmの微粉末を得た。

この微粉末を金型に挿入し、10kOeの磁界中で配向し、1.5～3t/cm²の圧力で成形した。

得られた成形体を、1000℃～1200℃、1時間、Ar中、の条件で焼結し、その後放冷し、この発明による永久磁石を作製した。

また、比較のため、第2表に示すMあるいはSiを添加しないR-B-Fe系永久磁石も同製法で作製した。

得られた永久磁石の磁気特性並びにキュリー温度を測定した。測定結果を第2表及び第3表に示す。また、25℃、60℃、100℃の各温度でBHトレーサーにより磁化曲線を測定し、25℃～60℃と60℃～100℃における温度変化を平均し、残留磁束密度の温度変化として測定した。

第2表と第3表から明らかなように、R-Fe

11

—BM系にSiを含有することにより、高保磁力を有し、かつキュリー点が改善されたすぐれた永久磁石が得られたことがわかる。

第 2 表

成分組成	キュリー —温度℃	iHc (kOe)
15Nd—8B—77Fe	311	7.3
15Nd—8B—1Mn—76Fe	297	8.0
15Nd—8B—1Cr—76Fe	307	9.9
15Nd—8B—1W—76Fe	305	9.0
15Nd—8B—1Ge—76Fe	299	8.5
15Nd—8B—1V—76Fe	294	8.1
15Nd—8B—1Sn—76Fe	308	12.5
15Nd—8B—1Al—76Fe	297	13.0
15Nd—8B—1Ni—76Fe	311	7.8
15Nd—8B—1Nb—76Fe	311	9.1
15Nd—8B—1Ta—76Fe	311	9.2
15Nd—8B—1Bi—76Fe	311	10.8
15Nd—8B—1Ti—76Fe	313	7.8
15Nd—8B—1Ca—76Fe	311	10.0
15Nd—8B—1Mg—76Fe	311	9.7
15Nd—8B—1Mo—76Fe	303	8.1
15Nd—8B—1Sb—76Fe	310	10.5
15Nd—8B—1Zr—76Fe	311	8.0
15Nd—8B—1Hf—76Fe	312	7.8

第 3 表

成分組成	キュリー —温度℃	iHc (kOe)
15Nd—8B—1Mn—2Si—74Fe	306	9.2
17Nd—7B—1Cr—3Si—72Fe	319	10.1
14Nd—8B—1W—4Si—73Fe	320	8.9
18Nd—10B—1Ge—3Si—68Fe	311	8.4
14Nd—9B—1V—1Si—75Fe	300	8.3
16Nd—7B—1Sn—1Si—75Fe	315	11.8

12

成分組成	キュリー —温度℃	iHc (kOe)
17Nd—10B—1Al—4Si—68Fe	310	12.5
18Nd—7B—1Ni—5Si—69Fe	326	7.6
14Nd—11B—1Nb—1Si—73Fe	317	8.5
16Nd—17B—1Ta—2Si—64Fe	319	9.5
17Nd—7B—1Bi—4Si—71Fe	322	10.3
15Nd—8B—1Ti—6Si—70Fe	324	8.0
17Nd—9B—1Ca—3Si—70Fe	337	7.9
15Nd—8B—1Mg—2Si—74Fe	320	9.8
14Nd—11B—1Mo—1Si—73Fe	304	9.7
16Nd—17B—1Sb—2Si—64Fe	317	11.2
17Nd—7B—1Zr—4Si—71Fe	322	8.5
15Nd—8B—1Hf—6Si—70Fe	332	8.3

20 実施例 4

実施例 1 と同じ製法で永久磁石を作製し、成分組成を、15Nd—8B—1Nb—2Si—74Feとした永久磁石の室温における磁化曲線を測定した。

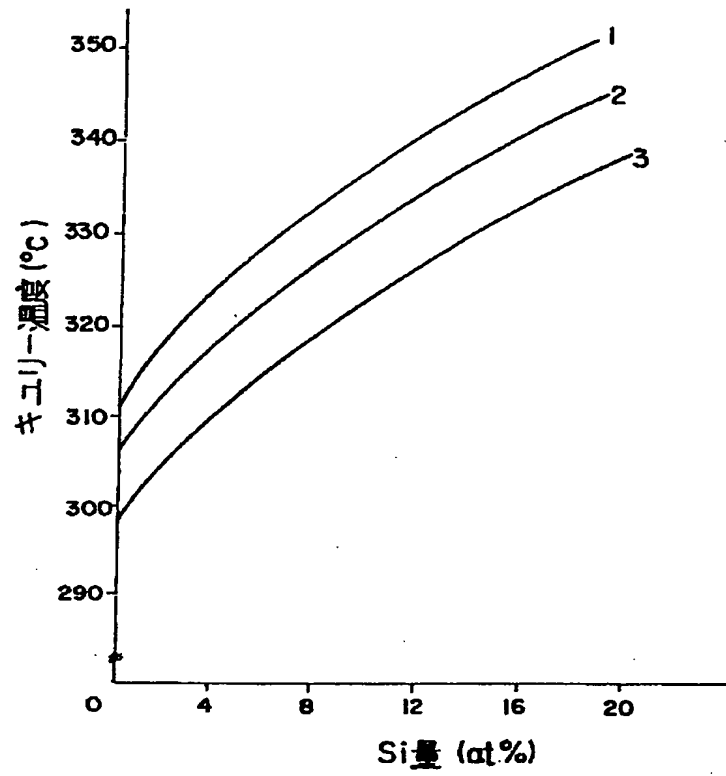
第 6 図の磁化曲線から明らかなように、初磁化曲線は低磁界で急峻に立上がり飽和に達し、減磁曲線はきわめて角形性が高く、この永久磁石が典型的な高性能異方性磁石であることがわかる。

また、この永久磁石の保磁力が反転磁区の核発生によって決定される、いわゆるニュークリエーション型永久磁石であることを示している。また、第 3 表に示すこの発明の組成の磁石はいずれも第 6 図と同等の磁化曲線を示した。

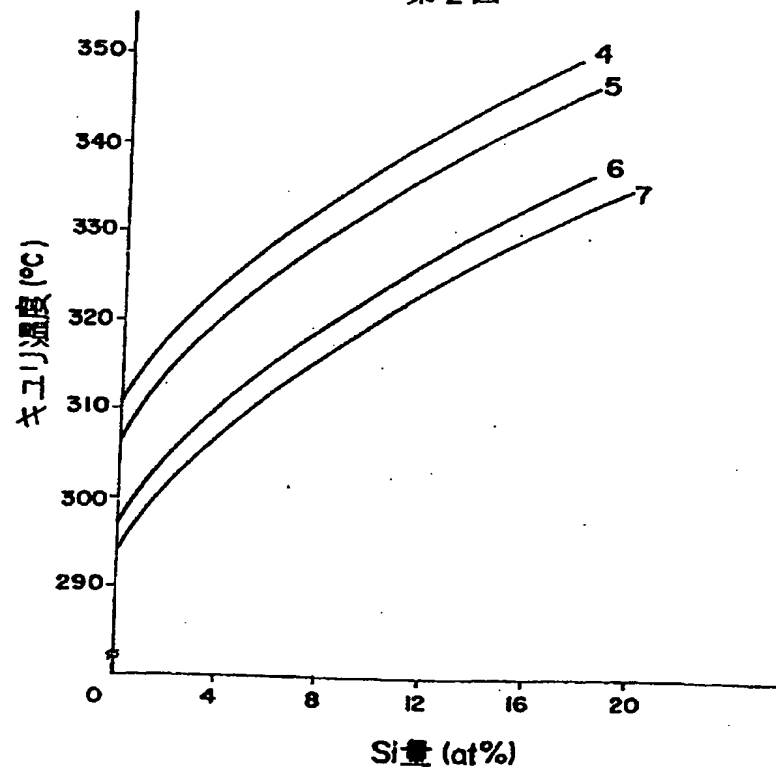
図面の簡単な説明

第 1 図から第 5 図はSi量とキュリー温度との関係を示すグラフ、第 6 図は磁化曲線を示すグラフである。

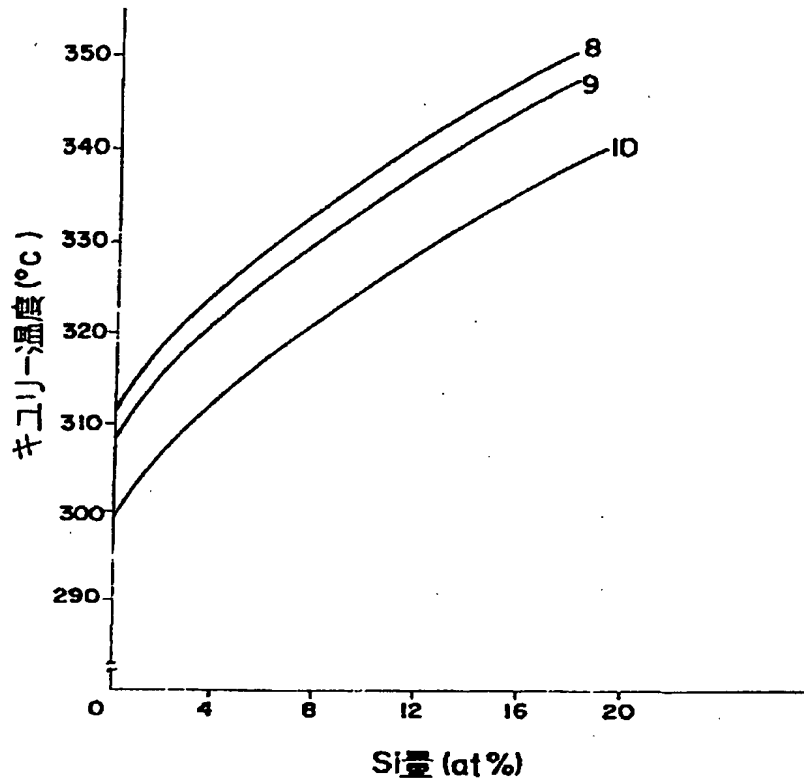
第1図



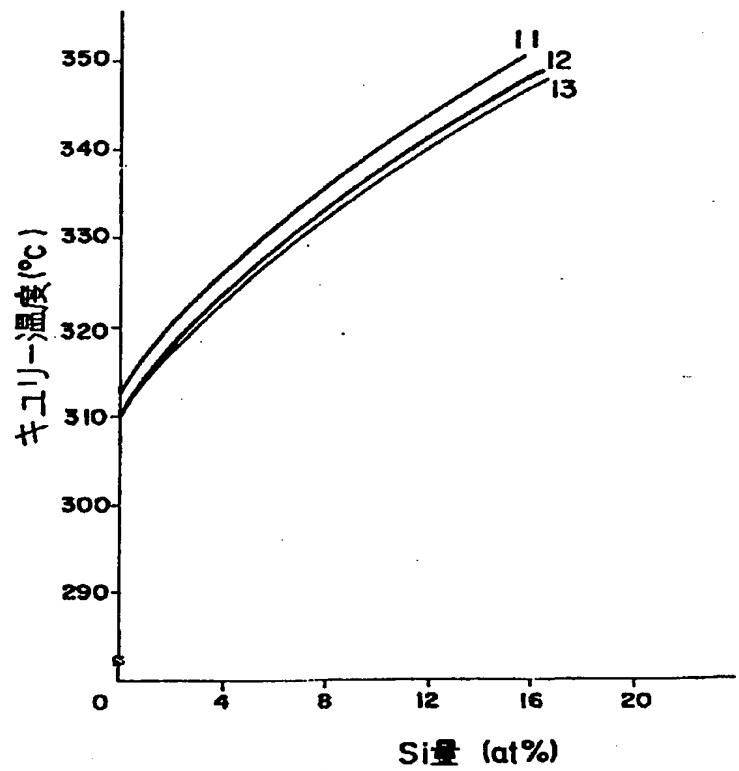
第2図



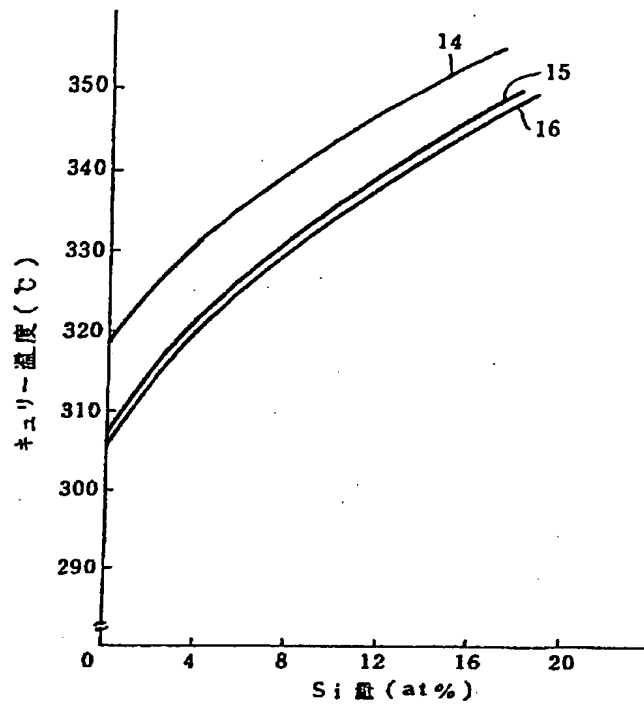
第3図



第4図



第5図



第6図

